

論文 袖壁付き RC 柱のせん断挙動に与える袖壁の出幅の影響

磯 雅人^{*1}・上原 正敬^{*2}・福山 洋^{*3}・田尻 清太郎^{*4}

要旨: 本研究は袖壁付き RC 柱のせん断性状に与える袖壁の出幅の影響を構造実験により確認し、その構造性能を評価したものである。試験体は袖壁と柱を含めた全せいが 1500mm であり、柱の両側に均等な幅の袖壁を設けた試験体、柱の両側に不均等な幅の袖壁を設けた試験体、柱の片側のみに袖壁を設けた試験体の計 3 体である。実験の結果、せん断終局耐力に与える袖壁の出幅の影響は認められず、耐力はほぼ同等であった。また、既往のせん断終局強度式 (RC 耐震診断基準式, 技術基準式) との比較では、全て安全側に評価された。さらに既往の弾性剛性評価式, 曲げひび割れ強度式, せん断ひび割れ強度式による計算値と実験値との比較を行い、その適合性を示した。

キーワード: 袖壁付き RC 柱, 袖壁の出幅, せん断終局耐力, 弾性剛性, 曲げひび割れ, せん断ひび割れ

1. はじめに

現在, 2007 年版「建築物の構造関係技術基準解説書」¹⁾では、袖壁付き RC 柱の構造性能の評価方法および方針等が示されている。そこでは柱の両側に袖壁が均等に配置された袖壁付き RC 柱の適用方法が主に示されている。しかしながら、実構造物では、柱の両側に袖壁が不均等に配置されたり、柱の片側のみに袖壁が配置されたり、様々なバリエーションが考えられ、それらの適用方法も示す必要がある。一方、「RC 耐震診断基準」²⁾では、柱の両側に袖壁が均等に配置された袖壁付き RC 柱のせん断耐力式が示されると同時に、袖壁の出幅が左右で異なる袖壁付き RC 柱に対してのせん断耐力の評価方法を示している。以下に、それらの内容を示す。

「引張側の袖壁を無視し、圧縮側袖壁と柱を等価断面に置換しせん断耐力を求める。この場合、連続する壁の長さ、断面積により大きく耐力が異なる場合があるため両側に壁が連続する場合は引張側の壁を無視した各々の平均値、片側に連続する場合は引張側となる袖壁を無視した独立柱と圧縮側となる壁を考慮して求めたせん断耐力の平均値とする。」としている。しかしながら、

袖壁の配置が与えるせん断耐力への影響は、現段階では、十分に解明できていない状況である。また、それらを解明するための実験データも不足している。

そこで本研究では、袖壁付き RC 柱のせん断性状 (破壊性状, 変形性状, 耐力) に与える袖壁の出幅の影響を構造実験により確認すると同時に、弾性剛性, 各種耐力について既往の評価式による計算値との比較を行い、各評価式の適合性について検討, 評価することとした。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1 に試験体一覧, 表-2 に使用材料の力学的特性, 図-1 に試験体配筋図を示す。共通要因は、柱断面 $b \times D = 300\text{mm} \times 300\text{mm}$, 袖壁厚さ $t = 50\text{mm}$, 柱内法高さ $h_0 = 900\text{mm}$, 袖壁を含めた全せい 1500mm, せん断スパン比 $a/D = 1.5$ である。柱部分の主筋は 12-D16(SD685), 帯筋比 $p_w = 0.42\%$ (D6(SD295A)@50) である。袖壁一般部分の壁縦筋比は $p_{sv} = 0.40\%$ (D6(SD685)@160), 袖壁端部は 2-D10 (SD685), 壁横筋比 $p_{sh} = 1.27\%$ (D6(SD295A)@50) である。コンクリート設計基準強度は $F_c = 24\text{N/mm}^2$,

表-1 試験体一覧

No.	試験体名	柱に対する袖壁の配置	袖壁の出幅 D: 柱せい		帯筋 $p_w(\%)$ 仕様	壁横筋 $p_{sh}(\%)$ 仕様	壁縦筋		軸力比 σ_0/F_c $=N/(b \cdot D \cdot F_c)$	破壊 モード
			右	左			一般部仕様	端部仕様		
1	WRC-(R2D+L2D)-42/127-1/6F _c -SS	中央	2D	2D	0.42	1.27	0.40		1/6	SS
2	WRC-(R3D+L1D)-42/127-1/6F _c -SS		3D	1D	D6@50 (SD295A)	D6@50 (SD295A)	D6@160 (SD685)	2-D10 (SD685)		
3	WRC-(R4D+L0D)-42/127-1/6F _c -SS		4D	0D						

■ 共通要因 ■
 柱断面: $b \times D = 300 \times 300(\text{mm})$
 袖壁厚さ: $t = 1/6D = 50(\text{mm})$
 柱内法高さ: $h_0 = 900(\text{mm})$
 主筋: 12-D16(SD685)
 袖壁縦筋 (一般部): $p_{sv} = 0.40\%$ (D6(SD685)@160)
 袖壁縦筋 (端部): 2-D10(SD685)
 コンクリート設計基準強度: $F_c = 24\text{N/mm}^2$

■ 試験体名称 ■
 WRC-(R3D+L1D)-42/127-1/6F_c-SS
 ① ② ③ ④ ⑤
 ①袖壁の配置...WRC: 柱芯に袖壁を配置した袖壁付きRC柱
 ②袖壁の出幅...(R3D+L1D): 右側の袖壁の出幅が3D, 左側の袖壁の出幅が1Dを意味する。
 ③帯筋比/壁横筋比... $42/127: p_w(\%) \times 100 / p_{sh}(\%) \times 100$ を意味する。
 ④軸力比... $1/6F_c$: 軸力比が1/6を意味する。
 ⑤破壊モード...SS: 袖壁を無視した柱部分と袖壁付きRC柱全体としての破壊モードがともにせん断破壊先行型となるように設計したものの。

*1 福井大学大学院 工学研究科建築建設工学専攻 講師 博士 (工学) (正会員)
 *2 福井大学大学院 工学研究科建築建設工学専攻 (正会員)
 *3 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 上席研究員 工博 (正会員)
 *4 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員 博士 (工学) (正会員)

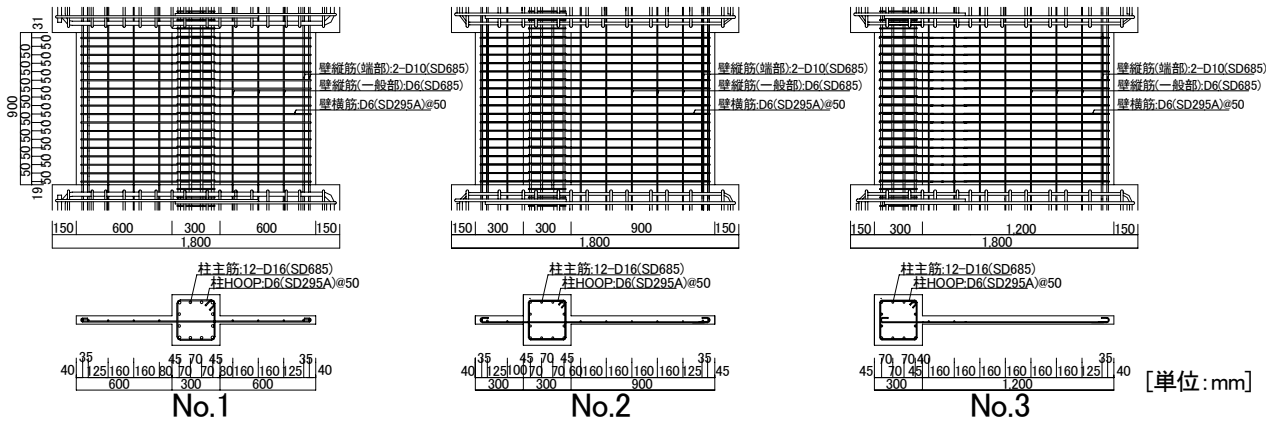


図-1 試験体配筋図

軸力は $N=360\text{kN}$ ($= (1/6) \cdot F_c \cdot b \cdot D$) の一定軸力とした。また、柱に対する袖壁の取り付け位置は、柱断面の芯に袖壁を設けることとした。

変動要因は、袖壁の出幅の1要因である。No.1 試験体は左右袖壁の出幅を2D(ここに、D:柱せい)の600mmと均等にした左右対称の袖壁付きRC柱試験体である。No.2 試験体は左側の袖壁の出幅が1Dの300mm, 右側の出幅が3Dの900mmと左右不均等にした袖壁付きRC柱試験体である。No.3 試験体は右側のみに袖壁がある片側袖壁付きRC柱試験体で、袖壁の出幅は4Dの1200mmである。以上、試験体総数は計3体であり、袖壁付きRC柱のせん断性状に与える袖壁の出幅の影響を確認した。なお、本試験体の破壊モードは、曲げ破壊に先行してせん断破壊が確実に生じるように、袖壁を無視して独立柱として評価した場合の破壊モードと袖壁付きRC柱として評価した場合の破壊モードが両者ともに、せん断破壊となるように設計を行った。そのため、主筋および壁縦筋のすべてに高強度鉄筋SD685を使用した。

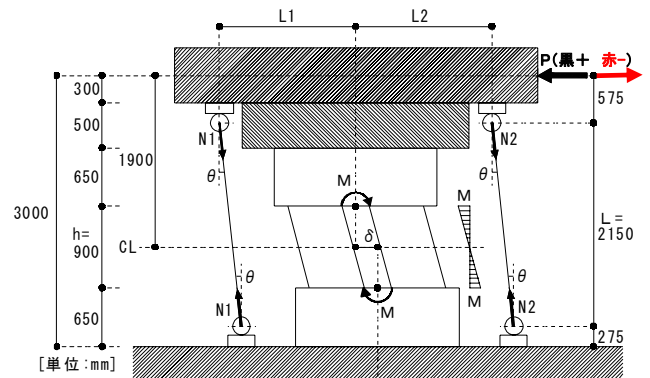
2.2 加力方法

図-2 に加力模式図および加力サイクル図を示す。加力は、正負交番漸増繰返し载荷とした。軸力は鉛直方向の2台の1000kN油圧ジャッキにより一定軸力($N=(1/6) \cdot F_c \cdot b \cdot D=360\text{kN}$)を与えると同時に、水平力を生じさせた際に、試験区間図心位置でのモーメント分布が常に逆対称モーメントとなるように、N1およびN2の軸力をコンピュータにて制御した。一方、水平力は水平方向の鉄骨梁を介して、1台の2000kN油圧ジャッキにより与えた。加力プログラムは、 ± 2 サイクルまでは荷重制御とし、 ± 1 サイクル目は $2/3Q_A$ (ここに、 Q_A :RC規準短期許容せん断力式³⁾による計算値($=191\text{kN}$)), ± 2 サイクル目は Q_A とした。その後は、部材角で制御し、 $1/800(\text{rad.})$, $1/400(\text{rad.})$ を各1サイクル, $1/200(\text{rad.})$, $1/100(\text{rad.})$ を各2サイクル行うことを原則とした。なお、加力終了は、最大耐力確認後、耐力が最大耐力の80%まで低下した時点を加力終了の目安とした。

表-2 使用材料の力学的特性

鉄筋	鉄筋の種類	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	降伏ひずみ度 (μ)	ヤング係数 $\times 10^4(\text{N}/\text{mm}^2)$
■鉄筋■					
使用部位					
主筋	D16(SD685)	729	929	4050	1.92
壁縦筋端部	D10(SD685)	736	917	4170	1.82
壁縦筋一般部	D6(SD685)	684*	943	5820*	1.79
帯筋・壁横筋	D6(SD295A)	337*	508	3940*	1.74
■コンクリート■	試験体	圧縮強度 (N/mm^2)	割裂引張強度 (N/mm^2)	ポアソン比	ヤング係数 $\times 10^4(\text{N}/\text{mm}^2)$
材齢(養生)					
34日(封緘)	No.1 WRC-(R2D+L2D)- 42/127-1/6Fc-SS	26.5	2.36	0.173	2.32
41日(封緘)	No.2 WRC-(R3D+L1D)- 42/127-1/6Fc-SS	28.2	2.42	0.217	2.34
	No.3 WRC-(R4D+L0D)- 42/127-1/6Fc-SS				

*: 0.2%オフセット法により算出



■試験区間に生じるせん断力Q■

$$Q = P - (N_1 + N_2) \sin \theta + (N_1 + N_2) \delta \cos \theta / h$$

ここに、 $\sin \theta = \frac{\delta}{\sqrt{L^2 + \delta^2}}$, $\cos \theta = \frac{L}{\sqrt{L^2 + \delta^2}}$, $N_1 + N_2 = 360(\text{kN})$

また、図中のL1およびL2は左右の鉛直方向の油圧ジャッキから図心位置までの距離でNo.1はL1=L2=1600mm, No.2はL1=1450mm, L2=1750mm, No.3はL1=1300mm, L2=1900mmとなる。

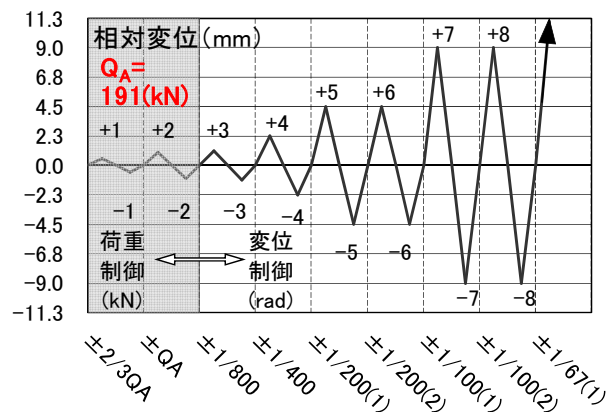


図-2 加力模式図および加力サイクル図

表-3 実験結果および計算結果一覧

No.	試験体名	実験値(上段の数値:正側 下段の数値:負側)			破壊モード	計算値			比較値(=実験値/計算値)			
		eS (kN/rad.)	ePmc (kN)	ePsc (kN)		ePmax (kN)	cS (kN/rad.)	cQmc (kN)	cQsc (kN)	eS cS	ePmc cQmc	ePsc cQsc
1	WRC-(R2D+L2D)- 42/127-1/6Fc-SS	578160	51.5	250.5	758.5	せん断破壊	1692000	228.9	211.4	0.34	0.22	1.19
			-128.5	-190.5	-736.5		782300			0.74		
			151.0	352.0	750.0		564100			1.02	0.56	0.90
2	WRC-(R3D+L1D)- 42/127-1/6Fc-SS	691560	151.0	352.0	750.0	せん断破壊	1876000(414200)*	238.8	177.7	0.37(1.67)	0.63	1.98
			-251.0	-251.0	-775.0		671200			1.03		
			190.0	251.0	781.0		708800			0.98	1.05	1.41
3	WRC-(R4D+L0D)- 42/127-1/6Fc-SS	751320	190.0	251.0	781.0	せん断破壊	483800	319.9	208.2	1.55	0.59	1.21
			-102.0	-252.0	-763.0		664900			1.13		
							1107000			0.68	0.32	1.21

■記号の説明■
 eS:弾性剛性(実験値 正負の平均値) cS:弾性剛性計算値
 ePmc:曲げひび割れ耐力(実験値) (式(1) 上段:応力度法 中段:エネルギー法 下段:置換断面法)
 ePsc:せん断ひび割れ耐力(実験値) cQmc:曲げひび割れ強度計算値(式(2))
 ePmax:最大耐力(実験値) cQsc:せん断ひび割れ強度計算値(式(3))
 *:No.2 cS計算値上段 ()なしの数値:κ算出の際にb=柱幅300mmを採用して計算した場合。
 ()内の数値:κ算出の際にb=袖壁厚さ50mmを採用して計算した場合。

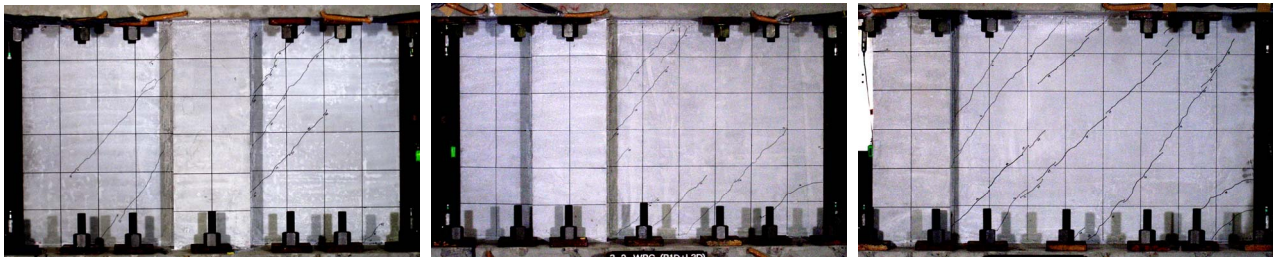
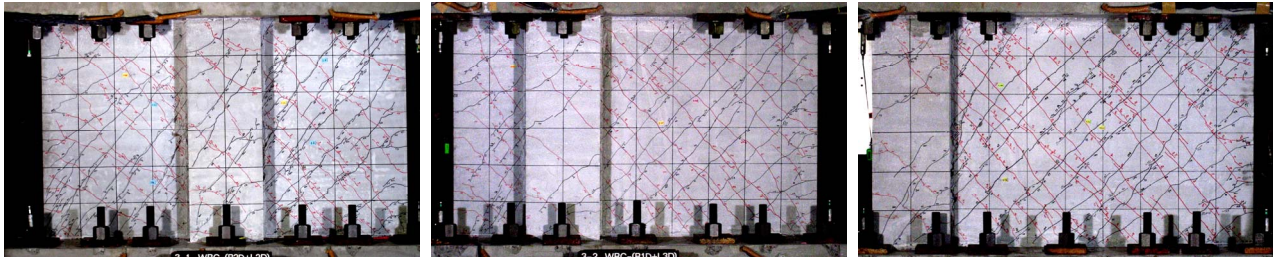


写真-1 R=+1/800rad. (1回目)時のひび割れ状況

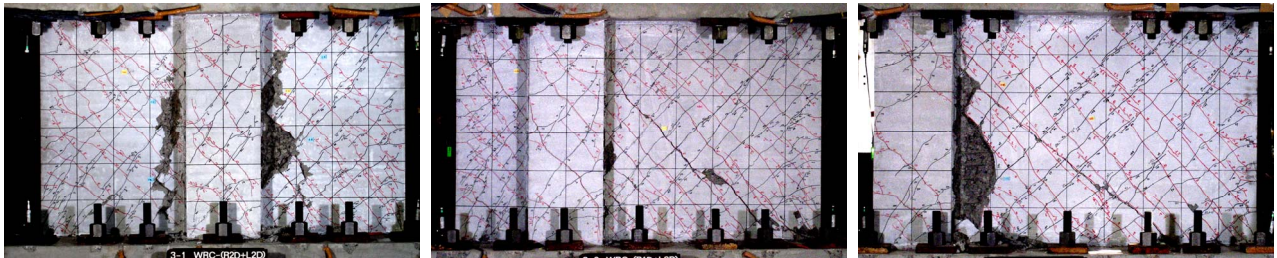


R=+1/100rad. (1回目)

R=-1/200rad. (1回目)

R=+1/100rad. (1回目)

写真-2 最大耐力を含むサイクル時のひび割れ状況



No.1 WRC-(R2D+L2D)-42/127-1/6Fc-SS

No.2 WRC-(R3D+L1D)-42/127-1/6Fc-SS

No.3 WRC-(R4D+L0D)-42/127-1/6Fc-SS

黒線:正加力時のひび割れ 赤線:負加力時のひび割れ

写真-3 最終破壊状況(R=-1/100rad.(2回目))

3. 実験結果

3.1 破壊性状

写真-1にR=+1/800rad.(1回目)時のひび割れ状況を、写真-2に最大耐力を含むサイクル時のひび割れ状況を、写真-3に最終破壊状況(R=-1/100rad.(2回目))を示す。試験体のひび割れ発生順序は、引張側の袖壁および柱の端部に曲げひび割れが最初に発生する。その後は、柱と袖壁境界部にせん断ひび割れが発生し、次いで袖壁および柱部に単独にせん断ひび割れが発生した。また、最大耐力の前後付近では、袖壁圧縮端コンクリートに圧壊が観察された。とくに最大耐力以降では柱と袖壁境界部の

コンクリートが剥落するとともにズレが生じて、柱と袖壁が分離するような性状が観察された。

次に、各試験体の最大耐力を決めた要因をひび割れ観察から詳細に述べる。No.1およびNo.2試験体は、袖壁端部に圧壊が生じることにより最大耐力を示す傾向が認められた。さらに、最大耐力後、徐々に耐力を低下させ変形が進むと柱と袖壁境界部のコンクリートが剥離し、ズレが顕著になる性状が観察された。一方、No.3試験体は柱と袖壁境界部のズレが先行して最大耐力をむかえ、その後、徐々に耐力を低下させ変形が進むと、袖壁端部に圧壊が観察された。

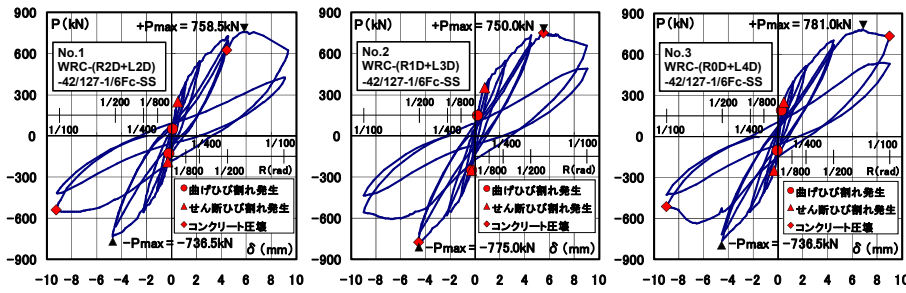


図-3 セン断力 (P) - 相対変位 (δ) 関係

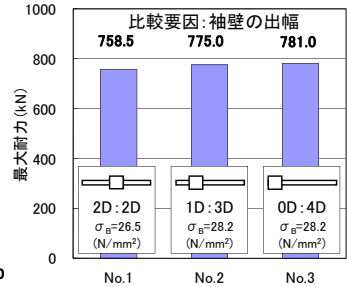


図-4 最大耐力実験値の比較

短期許容せん断力時のひび割れ状況は、写真には示していないが袖壁および柱の引張側端部に曲げひび割れが生じる程度であり、損傷は軽微であった。

3.2 変形性状

図-3 にせん断力 (P) - 相対変位 (δ) 関係を示す。弾性剛性は、柱が外側によっている試験体ほど高くなる傾向が認められた。また、柱と袖壁の境界部にせん断ひび割れ (図中▲印) が生じることにより剛性が顕著に低下する傾向が認められた。最大耐力時の部材角は、No.1 が $R=1/137(\text{rad.})$ 、No.2 が $R=-1/197(\text{rad.})$ 、No.3 が $R=1/132(\text{rad.})$ であった。最大耐力後は徐々に耐力を低下させ、とくに柱と袖壁境界部のコンクリートの剥落およびズレが顕著になると、その耐力の低下割合は大きくなる傾向を示し、せん断破壊型の変形性状を示している。

3.3 袖壁付き RC 柱のせん断終局耐力

図-4 に各試験体の最大耐力実験値の比較を示す。各試験体の最大耐力はほぼ同等であり、本研究の範囲内では、せん断終局耐力に与える袖壁の出幅の影響は認められなかった。

4. 弾性剛性および各種耐力の評価

表-3 に弾性剛性、曲げひび割れ、せん断ひび割れ耐力の実験値、計算値、比較値を示す。

4.1 弾性剛性

図-5 に弾性剛性実験値 (eS) と計算値 (cS) との比較を示す。弾性剛性実験値の算出方法は、まず±1 サイクル: ピーク時までの正負それぞれのデータを線形回帰し、正負それぞれの弾性剛性を算出する。それらを平均したものである。ただし、±1 サイクルそれぞれの途中で曲げひび割れ発生した場合には、曲げひび割れ 1 step 前までのデータを用いて回帰分析を行い、弾性剛性を算出している。一方、弾性剛性計算値は、式(1)により算出し、式中の κ を(1) 応力度法、(2) エネルギー法 および (3) 置換断面法 の3種類の方法により検討を行う。

$$cS = \frac{1}{\{h_0^2 / (12Ec \cdot I_0) + \kappa / (G \cdot A)\}} \quad (1)$$

ここに、 h_0 : 柱内法高さ

Ec : コンクリートのヤング係数 (RC 規準)³⁾

単位体積重量は、 $\gamma=23\text{kN/m}^3$ を使用

I_0 : 断面二次モーメント

κ : セン断形状係数 (下記(1)(2)(3)参照)

G : セン断剛性 ($= Ec / \{2(1+\nu)\}$), $\nu=0.2$)

A : セン断有効断面積 (下記(1)(2)(3)参照)

(1) 応力度法: 断面積 A を袖壁付き RC 柱の全断面積で評価して、せん断形状係数 κ は図心位置でのせん断応力度と平均せん断応力度の比として評価する方法。

No.1, No.3 の κ はそれぞれ 0.577, 2.940, No.2 は図心位置が柱と袖壁との境界であるため、柱部で算出した場合は 0.563, 袖壁部で算出した場合は 3.375 である。

(2) エネルギー法: 材全体のせん断ひずみエネルギーの総和が外力 Q のなす仕事に等しいとしてせん断変形 δ $s = \kappa \cdot Q \cdot l / (G \cdot A)$ の形で表した時の係数を κ とする。ここに、 A : 袖壁付き RC 柱の全断面積 l : 部材長。No.1, No.2, No.3 の κ は、それぞれ 1.583, 1.993, 2.099 である。

(3) 置換断面法: 断面積 A を袖壁付き RC 柱の全せいと等しくし、かつ断面二次モーメント (鉄筋の影響は無視) が等しくなるような等価長方形断面積 A_e で評価して、せん断形状係数 $\kappa=1.2$ (エネルギー法) を用いて評価する手法。

図-5 より、白抜きで示した応力度法による比較値 (= 実験値/計算値) は 0.34~1.67 とばらつきが大きい。また、No.2 試験体の図心位置は、柱と長い袖壁との境界部にあるため、2種類の κ が存在する。弾性剛性の計算に際しては、どちらの値を採用すべきかは、今後の課題であり、注意が必要である。黒塗りで示したエネルギー法では、比較値は 0.74~1.13 (平均値 0.97) であり、3手法の中で最も精度が良い。色塗りで示した置換断面法では、比較値は 0.68~1.02 (平均値 0.89) であり、応力度法に比べてやや精度が向上する傾向が認められた。

4.2 曲げひび割れ強度

図-6 に曲げひび割れ発生荷重の実験値 (ePmc) と計算値 (cQmc) との比較を示す。実験値は、正および負加力のそれぞれにおいて柱頭・柱脚の袖壁もしくは柱部に最初に曲げひび割れが発生した荷重値とした。一方、袖壁付き RC 柱の曲げひび割れ強度計算値は、式(2)により算出した。

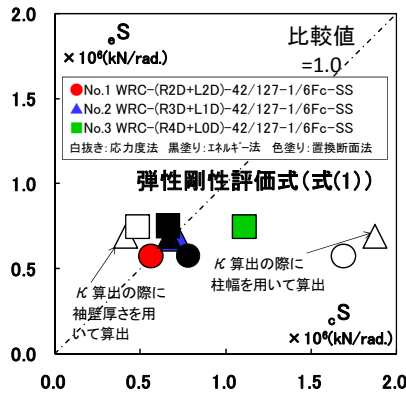


図-5 弾性剛性実験値 (eS) と計算値 (cS) との比較

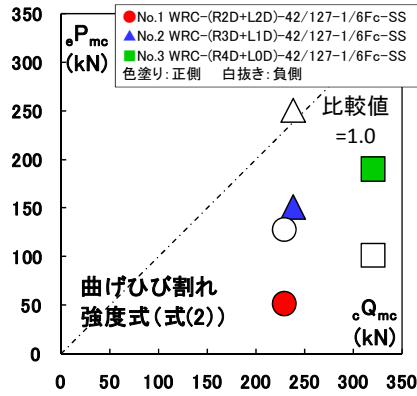


図-6 曲げひび割れ耐力実験値 (ePmc) と計算値 (cQmc) との比較

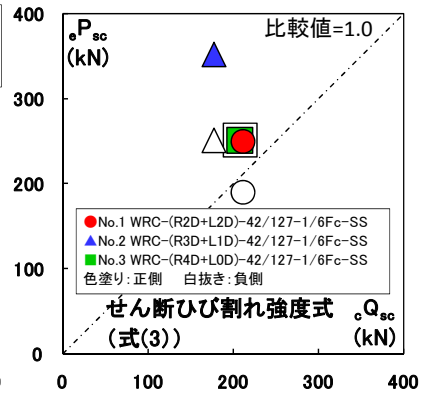


図-7 せん断ひび割れ耐力実験値 (ePsc) と計算値 (cQsc) との比較

表-4 せん断終局強度の計算結果一覧

No.	試験体名	最大耐力 実験値 ePmax(kN)	せん断終局強度計算値					gQsu (kN)	cQmu (kN)	比較値		
			Qsu1 (kN)	Qsu2 (kN)	Qsu3 (kN)	Qsu4 (kN)	tQsu=MAX (Qsu1,2,3,4)(kN)			ePmax tQsu	ePmax gQsu	ePmax cQmu
1	WRC-(R2D+L2D)- 42/127-1/6Fc-SS	758.5	556.8	520.9	188.4	264.1	556.8	429.2	904.7	1.36	1.77	0.84
		-736.5								1.32	1.72	0.81
2	WRC-(R3D+L1D)- 42/127-1/6Fc-SS	750.0	527.6	529.6	191.6	267.4	529.6	419.9	838.9	1.42	1.79	0.89
		-775.0								1.46	1.85	0.92
3	WRC-(R4D+L0D)- 42/127-1/6Fc-SS	781.0	469.5	525.3	191.6	295.5	525.3	422.2	1194.5	1.49	1.85	0.65
		-763.0								1.45	1.81	0.64

■記号の説明■
 Qsu1: 袖壁のせん断耐力式により算定したもの
 Qsu2: 等価断面積に置き換えて算定したもの
 Qsu3: 袖壁を無視して柱のせん断耐力式により算定したもの
 Qsu4: 柱型を無視して壁せん断耐力式により算定したもの
 tQsu: RC耐震診断基準式による袖壁付きRC柱のせん断終局強度計算値
 gQsu: 技術基準式による袖壁付きRC柱のせん断終局強度計算値
 cQmu: 平面保持を仮定したe関数法による曲げ終局強度計算値
 No.1, No.3は袖壁端部のコンクリートが圧縮強度に達した時の耐力を意味する。
 No.2は短い側の袖壁端部のコンクリートが圧縮強度に達した時の耐力を意味する。

$$cQmc = cMmc/a \quad (2)$$

ここに、cMmc: 曲げひび割れモーメント a: せん断スパン
 ただし、 $cMmc = 0.56\sqrt{\sigma_B} \cdot Z + N \cdot Z/\Sigma A$

ここに、 σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

N: 軸力

Z: 袖壁を考慮した時の断面係数 (引張側)

ΣA : 袖壁付き RC 柱の全断面積

なお、式(2)中の曲げひび割れモーメント (cMmc) は、コンクリートの曲げ引張強度を $0.56\sqrt{\sigma_B}$ と仮定し、軸方向応力度 $N/\Sigma A$ と曲げによる引張縁応力度を累加した縁応力度が、 $0.56\sqrt{\sigma_B}$ に等しいものとして導出したものである。同図より、比較値は 0.22~1.05 (平均値 0.56) とばらつきが大きく、実験値を過大に評価する傾向が認められた。これは乾燥収縮によるひび割れが、あらかじめ柱頭・柱脚の袖壁もしくは柱に生じていたためと推察される。

4.3 せん断ひび割れ強度

図-7 にせん断ひび割れ発生荷重の実験値 (ePsc) と計算値 (cQsc) との比較を示す。実験値は、正および負加力のそれぞれにおいて最初にせん断ひび割れ発生した荷重値とした。一方、袖壁付き RC 柱のせん断ひび割れ強度計算値は、式(3)により算出した。同式は、せん断ひび割れ発生位置を柱と袖壁との境界部と仮定し、その部位に生じるせん断応力度、軸方向応力度から算出される引張側の主応力度が $0.56\sqrt{\sigma_B}$ に達した時にせん断ひ

び割れが生じるものと仮定し、導出したものである。

$$cQsc = \frac{t \cdot I_0}{S} \sqrt{(0.56\sqrt{\sigma_B})^2 + 0.56\sqrt{\sigma_B} \cdot \frac{N}{\Sigma A}} \quad (3)$$

ここに、t: 袖壁厚さ S: 柱と袖壁境界部位置のせん断応力度を算出する時の断面一次モーメント (No.2 は、長い袖壁と柱部境界位置から算出)

その他の記号は、式(1)、式(2)参照

同図より比較値は 0.90~1.98 (平均値 1.32) とややばらつきが大きく、実験値を過小に評価する傾向が認められた。本式は曲げ応力度を考慮しておらず、それらを考慮する必要があると考えられる。

4.4 せん断終局強度

表-4 にせん断終局強度の計算結果一覧を示す。参考のため同表に平面保持を仮定した e 関数法による曲げ終局強度計算値を示しておく。最大耐力実験値は曲げ終局強度計算値を下回り、かつ破壊性状から判断して、せん断破壊したと推察される。以上より、既往のせん断終局強度計算値との比較を行う。図-8、図-9 に最大耐力実験値 (ePmax) と RC 耐震診断基準式 (tQsu) および技術基準式 (gQsu) による計算値との比較を示す。RC 耐震診断基準式は、袖壁付き RC 柱の強度 (Qsu1)、柱を等価な壁厚さにみだてて耐震壁として算出した強度 (Qsu2)、袖壁を無視して独立柱として算出した強度 (Qsu3)、柱を無視して雑壁として算出した強度 (Qsu4) の4式の値から最大を採用するものである。以下に Qsu1 (式(4))

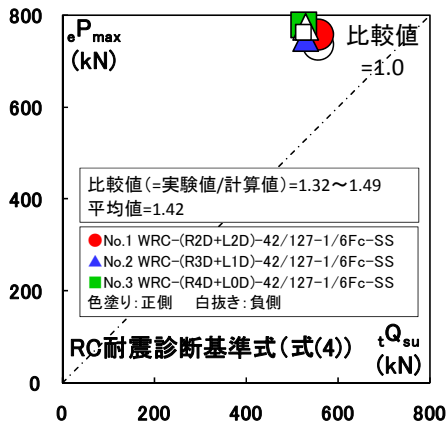


図-8 最大耐力実験値と RC 耐震診断基準式による計算値との比較

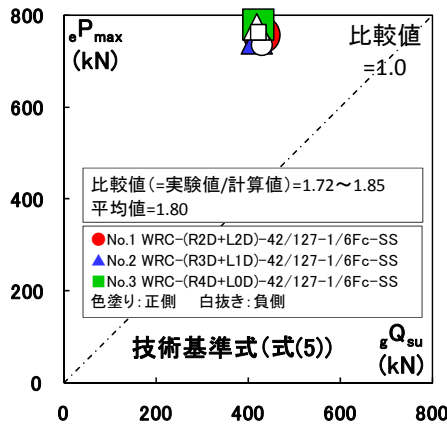


図-9 最大耐力実験値と技術基準式による計算値との比較

を示しておく。

$$Q_{su1} = \left\{ \frac{0.053 p_{te}^{0.23} (18 + F_c)}{M / (Q \cdot d_c) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_{0e} \right\} b_e \cdot j_c \quad (4)$$

ここに、 $p_{te} = 100a_t / (b_e \cdot d_c)$ a_t : 引張側主筋の断面積

d_c : 柱の引張鉄筋の中心から圧縮側袖壁の最外縁までの距離

$p_{we} \cdot \sigma_{wy} : p_w \cdot \sigma_{wy} (b/b_e) + p_{sh} \cdot \sigma_{sy} (t/b_e)$

$p_w \cdot \sigma_{wy}$: 柱の帯筋比とその降伏点強度の積

$p_{sh} \cdot \sigma_{sy}$: 袖壁の横筋比とその降伏点強度の積

b : 柱幅 t : 袖壁厚さ

$b_e = \Sigma A / L'$ ΣA : 柱断面積+圧縮側袖壁断面積

L' : 袖壁を含む全せい $\sigma_{0e} : N / (b_e \cdot j_c)$ $j_c : 7d_c / 8$

$M / (Q \cdot d_c) : 0.5 \leq h / (2d_c) \leq 2$ h : 柱の内法高さ

なお、 Q_{su2} , Q_{su3} , Q_{su4} は文献 2) を参照のこと。

とくに、袖壁付き RC 柱 (Q_{su1}) のせん断終局強度式の計算では、引張側の袖壁を無視し、圧縮側袖壁と柱を等価断面に置換して、その強度を求めるものである。両側に袖壁がある No.1, No.2 試験体の Q_{su1} は、RC 耐震診断基準に準じて引張側の袖壁を無視したそれぞれについて強度計算を行い、それらを平均したものである。また、片側に袖壁がある No.3 試験体の Q_{su1} は、引張側となる袖壁を無視した独立柱としてのせん断強度と圧縮側となる袖壁を考慮して求めたせん断強度を平均したものである。

一方、技術基準式は、引張側の袖壁も有効断面と考えて、断面積と全せいが原断面と等価な置換長方形断面に置換して算出するものである。下式(5)に技術基準式 (gQ_{su}) を示しておく。

$$gQ_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (18 + F_c)}{M / (Q \cdot d_c) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \cdot \sigma_{wy}} \right\} b_e \cdot j_c + 0.1N \quad (5)$$

ここに、 $p_{te} = 100a_t / (b \cdot D)$ D : 柱せい

$p_{we} : p_w (b/b_e) + p_s (t/b_e)$ p_s : 壁の横補強筋比

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度 N : 軸力

b_e : 置換長方形断面における幅

$M / (Q \cdot d_c) : 0.5 \leq h / (2d_c) \leq 2$

その他の記号は、式(4)を参照のこと。

図-8 の RC 耐震診断基準式の比較値は 1.32~1.49 (平均値 1.42) で安全側に評価される傾向が認められた。なお、No.1 試験体は式(4) : Q_{su1} の袖壁付き RC 柱のせん断強度式により、No.2, No.3 は Q_{su2} の柱を等価な壁厚さにみだてて耐震壁として算出した強度で決定されている。図-9 の技術基準式の比較値は、

1.72~1.85 (平均値 1.80) でさらに安全側に評価される傾向が認められた。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・袖壁付き RC 柱の全せいを同一にし、柱の両側に取付く袖壁の出幅を変化させた 3 試験体 (柱の両側に均等な幅の袖壁を設けた試験体、柱の両側に不均等な幅の袖壁を設けた試験体、柱の片側のみに袖壁を設けた試験体) のせん断終局耐力は、本研究の範囲内ではほぼ同等であり、袖壁の出幅による影響はとくに認められない。また、せん断終局耐力実験値と既往のせん断終局強度式 (RC 耐震診断基準式、技術基準式) との比較では、全て安全側に評価された。
- ・弾性剛性、曲げひび割れ、せん断ひび割れの各実験値と既往の評価式による計算値との比較を行い、各評価式の適合性 (比較値、比較値の平均値) を示した。

謝辞

本研究は、平成 21 年度国土交通省建築基準整備促進補助金事業の一部 (研究代表者：壁谷澤寿海 東京大学地震研究所教授) として行われた。

平成 21 年度福井大学磯研究室卒研生：蒲池俊輔君、独立行政法人建築研究所構造研究グループ：飯場正紀氏、諏訪田晴彦氏、向井智久氏に多大な協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売協同組合、pp.641~646、2007.8
- 2) (財) 日本建築防災協会：2001 年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説、pp.229~244-2、2001.10
- 3) (社) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説、2010.2